1999. Journées Rech. Porcine en France, **31**, 111-115.

Productions d'ammoniac, de protoxyde d'azote et d'eau par différentes litières de porcs durant la phase de croissance

P. ROBIN (1), P. A. DE OLIVEIRA (1,2), C. KERMARREC (1,3)

(1) I.N.R.A., Laboratoire de Bioclimatologie - 65, rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes Cedex
(2) E.M.B.R.A.P.A. , Suínos e Aves - Caixa Postal 21, 89700 Concórdia, Brésil
(3) E.N.S.C.R., Laboratoire de Chimie des Nuisances et Génie de l'Environnement (C.N.G.E.)
263, avenue du Général Leclerc, 35700 Rennes

Avec la collaboration technique de P. Perrin (1)

Productions d'ammoniac, de protoxyde d'azote et d'eau par différentes litières de porcs durant la phase de croissance

L'élevage de porcs sur litière permet l'évaporation de l'eau des déjections et le compostage précoce de celles-ci. Le type de compostage dépend en particulier du choix du support carboné (nature et quantité). Notre objectif est d'étudier l'influence d'une part de la proportion de sciure neuve par rapport à la litière ancienne et d'autre part du choix du support carboné sur la production d'ammoniac et de protoxyde d'azote de l'ensemble animal-litière-bâtiment. Pour cela, nous avons comparé dans les mêmes conditions d'animaux, de bâtiments et de climats, avec le même objectif de conduite de litière (animaux propres, surface de litière non souillée, brassage minimum), différentes litières : litière de sciure ancienne, litière ancienne avec 1/3 ou 2/3 de sciure neuve (en masse), sciure neuve, BioPig®, paille broyée, briquettes de paille, saule broyé. Les résultats montrent qu'avec un même objectif pour la surface de la litière, les productions d'ammoniac des différents supports sont comparables et les productions de protoxyde d'azote plus contrastées. L'influence de la quantité et de la nature du support carboné sur le processus de compostage est constatée à travers la variation de poids brut de la litière. Le brassage de la litière est observé durant quatre jours après la sortie des animaux. Il accroît la production d'ammoniac des litières à base de paille et la production de protoxyde d'azote de la litière à base de saule. Ces résultats sont discutés en fonction des objectifs de minimisation des productions de gaz azoté et du travail de l'éleveur (brassages).

Ammonia, nitrous oxide and water emissions from pigs housed on several types of litter during the growing period

The evaporation of water and early composting of slurry are accelerated by housing pigs on deep-litter. The composting process depends on the carbon source used (type and amount). Our objective was to study firstly, the effect of the proportion of fresh sawdust in accumulated sawdust systems and secondly, the influence of the carbon source on ammonia and nitrous oxide emission from the animal-litter-building system. In order to do this we compared several types of litter under the same pig rearing conditions (animals, building and climate), with the same litter management objectives (clean animals, clean litter surface and minimal litter mixing). The litters tested were old sawdust litter, old litter with either 1/3 or 2/3 fresh sawdust (w/w), fresh sawdust, BioPig®, broken straw, straw compacted into small cubes and crushed willow. We observed that for the same litter management objectives ammonia emissions were not affected, while nitrous oxide emissions were more strongly affected, by litter type. The carbon source (type and amount) was shown to influence the composting process, because the weights of raw litter were different. The litters were thoroughly mixed for 4 days after the animals had left the pens. Mixing markedly increased ammonia emission from the straw-based litters and nitrous oxide emission from the willow litter. The results are discussed in relation to the objectives of minimising the nitrogen gas emissions and the work load of the farmer (mixing the litter).

INTRODUCTION

Le choix du support carboné des litières, en nature et en quantité, condionne fortement les procédés de compostage des déjections (MÉRILLOT, 1994). La conduite de la litière dépend des objectifs recherchés, par exemple : maximisation soit de la production de chaleur sensible par la litière, soit de l'évaporation d'eau par la litière ; minimisation soit du travail de l'éleveur, soit des productions de gaz à fort impact environnemental, soit d'un indicateur global de l'impact environnemental, soit des productions de poussières (selon la source). Ces objectifs ne sont pas toujours compatibles. Différents supports carbonés ont déjà été étudiés mais soit en chambre (sans animaux durant huit semaines, ANDERSSON, 1996), soit sans mesures de flux émis (NICKS et al, 1998).
Dans cette étude, nous privilégions les productions de deux gaz azotés choisis du fait de leur impact sur l'environnement (ammoniac sur les pluies acides, protoxyde d'azote sur l'effet serre) et de leur mise en cause en élevage sur litière (GROENESTEIN et al, 1992, GROENESTEIN et VAN FAASSEN, 1996) et plus généralement dans les systèmes à forte intensification animale. La production de vapeur d'eau est prise en compte du fait de son incidence sur le travail de l'éleveur (gestion de la zone de déjecion) et sur la transportabilité de l'effluent final. Le choix de la nature, des quantités et du mode d'apport du support carboné est potentiellement un des moyens de maîtriser le compostage en élevage sur litière et de parvenir à un niveau de standardisation similaire à celui de l'élevage sur caillebotis. Lorsque le compostage est réalisé en élevage, il faut s'adapter aux modalités d'apport de déjection en continu par les animaux. En élevage de porcs, par rapport aux élevages bovins ou avicoles, l'apport des déjections est caractérisé par la séparation des fécès et des urines et par le regroupement dans une zone qui s'étend généralement à partir d'un coin froid de l'enceinte. Le brassage de la litière est destiné à incorporer la déjection au support carboné. Lorsque le support carboné est apporté sur la zone de déjection en cours de bande, le brassage est moins nécessaire. Le brassage est également destiné à aérer la litière en sorte de favoriser l'évacuation de l'eau des déjections. L'aération peut néanmoins se faire naturellement si le spectre de porosité de la litière est choisi en sorte de laisser une fraction de porosité libre à l'air, aux humidités normalement acceptables en litière (CHAN et al, 1994).

1. MATÉRIEL ET MÉTHODE

1.1. Protocole général

Deux expérimentations ont été réalisées afin d'évaluer l'effet de la proportion de sciure ajoutée à une litière ancienne (exp. I) et l'effet du support carboné initial (exp. II) sur les flux de gaz (NH_3, N_2O, H_2O).
Nous avons choisi l'étude en conditions contrôlées et en régimes climatiques permanents (températures extérieures et d'ambiance constantes) car nous ne disposions pas d'une modélisation du compostage qui permette de prendre en compte les effets de l'ambiance sur les régulations biologiques internes à la litière et souhaitions néanmoins pouvoir reproduire ce fonctionnement à l'identique. Les enceintes d'élevage sont des cellules identiques de 8 m^3 (3,6 m^2) qui permettent l'élevage de trois porcs entre 30 et 55 kg. Elles sont conduites durant quatre semaines dans un local climatisé. Les enceintes d'élevage sont ventilées naturellement par les effets de densité, générés dans chaque bâtiment par les productions de chaleur sensible et de vapeur d'eau des animaux et de la litière.

1.2. Animaux

Les animaux utilisés durant les deux expérimentations sont des porcs femelles de croisement Piétrain x Large White appartenant au troupeau de la Station de Recherches Porcines de l'INRA à Saint-Gilles. Ils ont été nourris ad libitum avec un même aliment standard (Sprint Eclair granulé de Guyomarc'h) à l'aide de nourrisoupes.

1.3. Litières

Les matériaux sont choisis de façon à faire ressortir des contrastes possibles en liaison avec la composition chimique ou la structure physique du matériau. Dans la première expérimentation, la litière ancienne résulte d'une période d'élevage de six mois sans activateur biologique suivie d'une période de repos de quatorze mois (compostage puis dessèchement et refroidissement progressifs). La sciure ajoutée est une sciure brute de découpe de bois de feuillus (chênes, hêtres principalement), caractérisée par sa finesse et son humidité relative (30%).

Du fait de la sécheresse de la litière ancienne (29% eau), de l'eau a été rajoutée aux quatre mélanges (100% à 0% litière ancienne) pour obtenir une humidité initiale d'environ 40%, en sorte que le seul facteur intervenant sur les productions de gaz soit la proportion de litière ancienne.

Dans la seconde expérimentation quatre matériaux ont été comparés. *Le BioPig®* (SICSA) est un produit industriel ressemblant à une semoule, à base de bois de résineux, calibré, hygiénisé, séché et dépoussiéré, devant être utilisé en couches fines de 10cm et remplacé à chaque bande (vides sanitaires), il est caractérisé par son mode d'emploi (litière mince) et la reproductibilité de ses caractéristiques physiques et chimiques (ISO 9002). La paille broyée est du même type que celles utilisées en litières de volailles, ce matériau est caractérisé par sa relative disponibilité chez les éleveurs-agriculteurs. La *paille broyée* a été préférée à la paille brute pour augmenter la surface d'échange avec les déjections et limiter l'apparition d'une porosité grossière qui aurait pu être favorisée par les grands brins. La *paille en briquettes* est un produit industriel (Durepaire) caractérisé par une composition chimique identique à la paille broyée mais une structure physique très différente (absence de poussières, association d'une porosité intra-briquette fine à une porosité inter-briquette grossière). Le *saule broyé* a été choisi parce qu'il correspond à une filière de production existante (possibilité de grands volumes à proximité des exploitations, outil de récolte similaire aux ensileuses - LAMBERT, 1997) et présente l'intérêt par rapport aux déchets de bois d'être plus humide (démarrage plus rapide du compostage) et d'être le résultat d'une production (maîtrise de la récolte et du broyage et donc de la macroporosité de la litière pour l'infiltration des urines).

Les quantités initiales sont choisies en sorte de constituer une couche fonctionnelle de 30 cm (sauf *BioPig*®) placée au-dessus d'une « zone morte », inaccessible aux animaux et constituée du même matériau (sciure pour le saule broyé). Les deux couches sont séparées par un caillebotis permettant la mesure en continu de la température de litière.

La fréquence d'apport complémentaire en support carboné n'a pas été fixée au départ. Un apport complémentaire du même matériau (sciure pour le saule broyé) a été décidé en fonction de critères d'élevage (animaux propres, surface de litière non souillée, brassage minimum).

1.4. Mesures

Les pesées sont effectuées sur une bascule (Metler), à un pas de temps journalier pour l'aliment et l'eau et en début et fin de bande pour les animaux.
Les mesures de température et d'hygrométrie sont effectuées par des psychromètres équipés de thermocouples de type K (ThermoElectric).

Les débits d'air sont mesurés en continu par des anémomètres fil chaud (TSI), contrôlés manuellement par des anémomètres à hélice (Airflow) et numériquement par la vérification des lois de ventilation par effets de densité (débit en fonction de la géométrie d'ouvrants et de l'écart de température virtuelle ; SOULOUMIAC et ITIER, 1994). Les mesures en continu sont effectuées toutes les minutes, moyennées et mémorisées toutes les 30 minutes sur une centrale d'acquisition (AOIP).

Les mesures de gaz (NH_3 et N_2O) sont effectuées sur l'air toutes les deux minutes environ durant une demi-heure après prélèvement automatique dans les cellules et l'air extérieur et conduite dans des tuyaux polyamide réchauffés par circuit d'eau chaude (environ 40°C). L'air prélevé est analysé par un analyseur de gaz photoacoustique de détection par infrarouge (Brüel & Kjaer). Les valeurs mesurées sont contrôlées par des tubes colorimétriques (Draeger) et par des bouteilles de gaz étalon (Air Liquide). La moyenne est calculée sur une période de quelques minutes où la concentration est stabilisée.

Pour le présent travail, les caractéristiques de l'élevage sont calculées sur toute la période d'élevage. Les flux moyens de gaz sont calculés dans le but de caractériser la phase « porc en croissance ». Les flux d'air, d'eau et de gaz sont calculés sur les quinze derniers jours à partir des moyennes journalières des valeurs observées (pas de reconstitutions). Après la sortie des animaux, les litières ont été brassées sur 30 cm (couche fonctionnelle) et suivies durant quelques jours. Pour cette phase les flux moyens sont calculés sur quatre jours à partir du lendemain du brassage.

2. RÉSULTATS

Les résultats sont présentés au tableau 1. Les résultats zootechniques des porcs sont cohérents avec ceux observés dans la profession (GTE de Bretagne, 1996 ; LANDRAIN, 1997). Les écarts-type sont importants du fait du faible nombre d'animaux.

Les ambiances intérieures et extérieures (tableau 1) sont très voisines dans les deux expérimentations. Les écarts type sur les températures intérieures sont plus forts dans le cas de la comparaison des supports carbonés car nous avons du réduire la consigne de température intérieure pour accroître les débits d'air sans solliciter le chauffage des enceintes. L'accroissement du débit était destiné à limiter la concentration d'ammoniac dans la cellule contenant une litière de *BioPig*®.
Les variations de poids de la litière sont contrastées (tableau 1). L'ajout de sciure à la litière ancienne limite la prise de poids de la litière. Le choix du support carboné a un effet marqué sur la variation de poids. L'accumulation de matière est importante avec la paille broyée (environ 150 kg/porc), moyenne pour les mélanges à base de litière de sciure ancienne, pour la paille en briquette ou pour le *BioPig*® (environ 100 kg), négligeable pour les litières constituées de sciure neuve ou de saule broyé.
Les débits d'air (tableau 1) reflètent les productions de chaleur sensible et de vapeur d'eau (chaleur totale) des ensembles animaux+litière dans la mesure où les enceintes d'élevage et les climats intérieur et extérieur sont très voisins. L'ajout de sciure neuve à la litière ancienne a pour effet d'accroître le débit d'air. Le débit d'air est faible pour la litière de *BioPig*®. Les débits d'air les plus élevés sont observés pour les litières à base de briquettes de paille ou de saule broyé.
Les productions de gaz sont affectées de façon très contrastée par le choix de la litière initiale et par le brassage (tableau 1, p 114). Ainsi la production d'ammoniac est peu affectée par la litière initiale pour la phase « porc en croissance », mais très affectée lors du brassage (de 18,8 à 703 mg N/h porc en moyenne pour les quatre jours suivant le brassage). La production de protoxyde d'azote est en général supérieure en phase d'élevage par rapport au brassage, sauf dans le cas de la litière de saule broyé (de 28 à 61 mg N/h/porc). Les litières à base de sciure et le saule broyé produisent un flux de protoxyde d'azote nettement supérieur à celui des deux litières à base de paille. La litière à base de *BioPig*® a la plus faible production de protoxyde d'azote, que ce soit en phase d'élevage ou lors du brassage.
La production de vapeur d'eau est affectée par le choix de la litière initiale, mais les différences sont plus visibles à la suite du brassage du fait de la contribution majoritaire du porc à la production de vapeur d'eau de l'enceinte (environ 2,2 kg eau/jour/porc à 45 kg ; CIGR, 1984). Ainsi les productions de vapeur d'eau les plus fortes sont observées pour les mélanges à base de sciure et pour les briquettes de paille. L'effet du mélange de sciure neuve avec la litière ancienne ne suit pas les proportions initiales de matériau.

3. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

3.1. Productions de gaz

Les productions de vapeur d'eau sont plus faibles que celles observées en élevage sur litière profonde (OLIVEIRA et al, 1998) mais dans la même gamme que celles observées avec des brassages hebdomadaires dans des bâtiments réels en période hivernale (KLOOSTER et GREUTINK, 1992).

Tableau 1 - Effet de la proportion de sciure neuve ajoutée à une litière ancienne et du support carboné utilisé comme litière initiale, sur les flux de gaz (NH_3, N_2O, H_2O).

	Expérimentation I : effet de la proportion de sciure neuve ajoutée à une litière ancienne				**Expérimentation II : effet de différents supports carbonés utiliséscomme litière initiale**			
	Litière ancienne	**66% ancien 33% sciure**	**33% ancien 66% sciure**	**Sciure neuve**	***BioPig®***	**Paille broyée**	**Briquettes de paille**	**Saule broyé**
Porcs (3/enceinte)								
poids initial (kg)	30,1±0,7	30,5±0,7	30,4±2,5	30,3±3,1	31,2±0,8	31,1±1,8	31,1±1,1	32,0±3,5
poids final (kg)	53,5±5,0	55,7±1,7	55,5±5,5	56,2±6,1	49,2±5,0	53,5±2,0	50,2±7,3	50,7±6,6
durée (jours)	33	33	33	33	28	28	28	28
GMQ (kg/jour)	709±164	765±74	760±106	783±91	645±152	669±111	682±229	669±111
Alimentation								
eau (kg/porc.jour)	3,48	3,86	4,10	3,86	3,51	3,70	3,80	3,70
aliment (kg/porc.jour)	1,66	1,72	1,71	1,71	1,43	1,65	1,42	1,50
I.C. (kg/kg)	2,35	2,24	2,25	2,18	2,21	2,07	2,09	2,25
Ambiance								
temp. intérieure (°C)	22,4±0,9	22,4±0,9	22,4±1,0	22,5±1,0	22,8±2,9	22,2±1,4	22,9±2,6	22,7±2,9
temp. entrée air (°C)	9,3±0,1	9,9±0,2	10,2±0,1	10,5±0,1	10,8±0,2	9,9±0,1	10,6±0,2	11,1±0,1
Litière (kg mat. brut/porc)								
poids initial	350+34,2(1)	350,1+36,8(1)	350,1+39,4(1)	350,1+42(1)	126,1	132,3	494,15	357,9
poids final	476,2	426,1	377,4	340,0	227	294,5	589,3	346,4
Débit d'air (m^3/h/porc) (2)	22±3	27±5	28±5	26±5	24±6	29±4	30±5	31±4
Flux de gaz (mg N/h porc ou kg eau/jour porc)								
NH_3 - élevage (3)	355±71	418±72	391±69	280±91	436±152	310±49	401±98	362±77
N_2O - élevage (3)	29±9	31±6	31±5	24±3	16±1	20±2	20±2	28±4
H_2O - élevage (3)	3,4±0,2	5,1±0,4	4,1±0,3	4,7±0,4	3,4±0,3	2,9±0,4	4,0±0,4	3,4±0,5
NH_3 - brassage (4)	130±15	113±47	56±21	18±8	214±44	479±308	703±611	125±82
N_2O - brassage (4)	9±0,5	21±10	14±5	12±6	2±0	15±6	17±11	61±23
H_2O - brassage (4)	0,9±0,1	2,1±0,7	1,5±0,3	2,2±0,8	0,6±0,1	1,5±0,7	2,3±1,7	1,8±1,0

(1) Ajout d'eau pour démarrer à un taux d'humidité voisin de 40% sur les quatre enceintes d'élevage. (2) Débit d'air en ventilation naturelle qui s'établit en fonction des effets de densité générés par les productions de chaleur des animaux et de la litière. (3) Moyenne des valeurs journalières calculée sur les quinze derniers jours d'expérimentation avec les animaux. 4) Moyenne des valeurs journalières calculée sur les quatre jours à partir du lendemain du brassage, après la sortie des animaux.

Les productions des deux gaz azotés à fort impact environnemental (NH_3 et N_2O) sont affectées par les pratiques de conduite de litière mais de façon différente. Les valeurs observées pour la production d'ammoniac sont dans la gamme de celles observées en Europe (GROOT KOERKAMP et al, 1998). La gestion de la litière avec le même objectif d'état de surface et en minimisant le travail de brassage conduit à des émissions d'ammoniac variables d'une journée à l'autre et globalement similaires pour les différents traitements. L'émission d'ammoniac de la litière à base de *BioPig®* semble néanmoins supérieure aux autres traitements. La production de protoxyde d'azote est dans la même gamme que celle observée par GROENESTEIN et FAASSEN (1996). On constate un effet significatif du choix du support carboné. La litière à base de *BioPig®* produit le moins de protoxyde d'azote, suivie des litières à base de paille ou de sciure neuve.

3.2. Effet du brassage sur la production d'ammoniac

Le brassage est destiné à accélérer le processus de compostage, notamment pour accroître l'évaporation d'eau et limiter ainsi l'extension de la zone de déjection.

Il ressort clairement de notre étude que le brassage des litières de paille a pour conséquence une forte émission d'ammoniac. Le maximum est atteint pour la litière de briquettes de paille (1490 mg N/heure.porc en moyenne journalière). Cette forte émission est due d'une part à l'accumulation d'ammonium dans la phase acqueuse de la litière, d'autre part à l'entrainement d'air au sein de la litière généré par la production de chaleur accrue après le brassage. Dans la litière à base de *BioPig®*, le second de ces facteurs ne semble pas réalisé. La production d'ammoniac durant la phase d'élevage et l'accumulation de matière (d'eau) dans la litière laissent supposer l'abondance d'ammonium dans la phase acqueuse de la litière. Cependant le brassage réalisé après la sortie des animaux ne conduit pas à une émission massive d'ammoniac, probablement du fait de la faiblesse de la production de chaleur par la litière (débit d'air faible et production de vapeur d'eau faible après le brassage).

3.3. Effet du compostage sur la production de protoxyde d'azote

L'activité de compostage se manifeste ici par la variation de poids de la litière et par la production de chaleur (manifestée par le débit d'air et la production de vapeur d'eau). Elle semble plus intense pour les litières de sciure neuve ou de saule broyé, puis pour les litières à base de paille ou de mélange litière ancienne-sciure neuve, et plus faible pour les litières de *BioPig®* ou constituées de litière ancienne. Le compostage conduit à l'immobilisation de l'ammonium sous forme organique et entretien l'aération naturelle du tas. Cette dernière est probablement plus importante dans le cas des matériau à porosité grossière (saule broyé, briquettes de paille) et conduit, selon l'état de l'azote à l'émission accrue d'ammoniac ou de protoxyde d'azote lors du brassage. L'immobilisation de l'azote sous forme organique semble meilleure dans les supports carbonés à base de bois. Cela peut être du à une disponibilité du carbone différente ou à une porosité différente qui a pour conséquence une diffusion de l'oxygène et une nitrification réduites dans les litières à base de paille (VAN FAASSEN, 1992).

La très forte production de protoxyde d'azote générée par le brassage de la litière de saule broyé peut être interprétée par la conjonction de plusieurs phénomènes : une activité dénitrifiante intense correspondant à l'état déjà organisé de l'azote (faible production d'ammoniac), l'arrivée accrue d'oxygène dans le milieu, la moindre disponibilité du carbone du fait du broyage grossier du matériau (par rapport aux mélanges à base de sciure).

Les aspects microbiologiques et chimiques de la conduite de litière ont fait l'objet de plusieurs travaux (CHAN et al, 1994). Les connaissances sur le rôle des caractérisiques physiques des matériaux nous semblent actuellement incomplètes, en particulier celles sur le rôle de la porosité et de l'aération de la litière, pour satisfaire aux objectifs de maîtrise des gaz azotés à fort impact environnemental et de minimisation du besoin de brassage durant la phase d'engraissement.

REMERCIEMENTS

Les sociétés SICSA et DUREPAIRE pour la fourniture gracieuse de leur produit, J.C. POUPA pour nous avoir indiqué l'existence d'une filière originale de mise en valeur des zones humides par cultures de saule avec broyage et combustion des récoltes, le COMITÉ BRETAGNE EAU PURE (Conseil Régional de Bretagne, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Conseil Général du Morbihan, Europe) pour sa participation au financement des travaux.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

• ANDERSSON M., 1996. J. Agric. Engng. Res., 65, 213-222.
• CHAN D.K.O., CHAW D., LO C.Y.Y., 1994. Resources, Conservation and Recycling, 11, 51-72.
• C.I.G.R., 1984. La climatisation de bâtiments d'élevage. Rapport du groupe de travail.
• GROENESTEIN C.M., OOSTHOEK J., MONTSMA H., REITSMA B., 1992. In : Workshop on Deep-Litter System for Pig Farming., edited by J. A. M. Voermans. 51-56.
• GROENESTEIN C.M., VAN FAASSEN H.G., 1996 J. Agric. Engng. Res., 65, 269-274.
• GROOT KOERKAMP P.W.G., METZ J.H.M., UENK G.H., PHILLIPS V.R., HOLDEN M.R., et al., 1998. J. Agric. Engng. Res., 70, 79-95.
• KLOOSTER VAN'T C E, GREUTINK G J, 1992. In: Workshop on Deep-Litter System for Pig Farming., edited by J. A. M. Voermans. 124-134.
• LANDRAIN B., 1997. In : Nouveaux défis, nouvelles techniques,Journ≥e Nationale Porcs 19 novembre 1997.
• LAMBERT L., 1997. Filières, Entraid' Ouest, déc., 9-11.
• MÉRILLOT J.M., 1994. In : Traitement des déchets organiques - compostage, méthanisation, Lyon 18-22 avril 1994
• NICKS B., DÉSIRON A., CANART B., 1998. Ann. Zootech, 47, 107-116.
• OLIVEIRA P.A., ROBIN P., KERMARREC C., SOULOUMIAC D., DOURMAD J.Y., 1998. Journées Rech. Porcine en France, 30, 355-361.
• SOULOUMIAC D., ITIER B., 1989. C.R.Acad. Sci., série 11, Tome 308 n~3, 269-274.
• VAN FAASSEN H.G., 1992. In: Workshop on Deep-Litter System for Pig Farming., edited by J. A. M. Voermans, 157-165.